

## 日粮组合效应对瘤胃发酵参数的影响

郭冬生<sup>1</sup>, 彭小兰<sup>2</sup>

(1. 湖南文理学院 生命科学院, 湖南 常德 415000; 2. 湖南省畜牧兽医研究所, 湖南 长沙 410131)

**摘 要:**以装有永久性瘤胃瘘管的黄牛作为瘤胃液的供体动物,应用短期人工瘤胃发酵技术研究日粮组合效应对瘤胃液 pH、NH<sub>3</sub>-N 含量和不同发酵时间(2、4、8、12、24 h)产气量的影响。结果表明, pH 实测值与加权平均值差异不显著( $P > 0.05$ ), 瘤胃液 pH 值间不存在日粮组合效应。NH<sub>3</sub>-N 含量实测值与加权平均值差异极显著( $P < 0.01$ ), 瘤胃液 NH<sub>3</sub>-N 含量间存在极显著的日粮组合效应。饲料体外培养发酵 2、4、8、12、24 h 产气量实测值和加权平均值的  $t$  检验结果表明, 发酵 2 h 存在极显著的日粮组合效应; 发酵 4、8、12 h 时的产气量实测值和加权平均值间无统计学意义; 发酵 24 h 存在显著的日粮组合效应。

**关 键 词:**黄牛; 日粮组合效应; 瘤胃发酵参数; pH 值; 氨态氮含量; 产气量

中图分类号: S828.038 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2011)04-0419-06

### Associative effects of ruminant mixed feeds on the fermentation of rumen

GUO Dong-sheng<sup>1</sup>, PENG Xiao-lan<sup>2</sup>

(1.College of Life Science, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China; 2.Hunan Province Institute of Animal Science & Veterinary Medicine, Changsha 410131, China)

**Abstract:** The objective of this experiment is to investigate the associative effects of ruminant mixed feeds on pH, NH<sub>3</sub>-N and GP (gas production) 2, 4, 8, 12 and 24 h after *in vitro* incubation. One adult cattle fitted with a perpetual rumen cannula was used as the donor of rumen fluid. The animal was fed with a mixed ration twice daily and had free access to water. Regression analysis showed that there was a significant relationship between the calculated weighted mean value of pH(x) and those pH value measured by the *in vitro* incubation technique(y, 24 h incubation), and pH value was not significantly ( $P > 0.05$ ) effected by mixed feeds based on  $t$  test. The NH<sub>3</sub>-N weighted mean value calculated(x) and those NH<sub>3</sub>-N value measured by the *in vitro* incubation technique(y, 24 h incubation) showed linear regression and  $t$  test showed NH<sub>3</sub>-N value was significantly ( $P < 0.01$ ) effected by mixed feeds. And the GP calculated weighted mean value (x) also showed regression on those GP value measured by the *in vitro* incubation technique(y, 24 h incubation) and  $t$  test showed that GP value under 2 h and 24 h incubation was significantly effected by mixed feeds.

**Key words:** cattle; associated effects; fermentation parameters of rumen; pH; ammonia nitrogen; gas production

19 世纪末,德国科研人员首先发现了日粮中高淀粉含量有碍干草的消化。这是关于日粮组合效应的最早报道<sup>[1]</sup>。1931 年,Forbes 等<sup>[2]</sup>首先提出了混合日粮组合效应(associative effects)的概念; 1962 年,Blaxter<sup>[2]</sup>发现,用混合日粮饲喂反刍动物,混合日粮的表观消化率不等于各饲料组分表观消

化率的加权平均值。此后,日粮组合效应逐渐得到了动物营养学界的广泛认同,而且受到越来越多动物营养学家和动物生产者的关注。现行的动物饲养体系和日粮配制,是以饲料营养价值具有“可加性”原则<sup>[3-6]</sup>为基本前提的。“可加性”原则是假定饲料中某种养分的营养价值是恒定的,而且混合日粮中

收稿日期: 2011-01-08

基金项目: 湖南省青年骨干教师项目(湘教通[2008]315 号)

作者简介: 郭冬生(1973—),男,湖南澧县人,硕士研究生,副教授,主要从事反刍动物营养研究, guods888@163.com

某种养分的营养价值可以由组成该日粮的各组分加权平均而得出。越来越多的研究<sup>[7-10]</sup>表明,动物采食量、蛋白质补充料、易降解纤维、易发酵碳水化合物和脂肪的添加,以及加工调制方法等都会改变单种饲料的消化率和利用率,混合日粮的表观消化率并不等于日粮中各饲料组分表观消化率的加权平均值,饲料之间存在组合效应。笔者以黄牛作为瘤胃液的供体动物,饲喂常用反刍动物饲料,采用短期人工瘤胃发酵技术研究日粮组合效应对瘤胃发酵参数的影响,旨在为生产实践和理论研究提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材 料

以1头装有永久性瘤胃瘘管、体质量约500 kg的黄牛作为瘤胃液的供体动物。

收集17种常用反刍动物饲料,其中包括5种蛋白饲料(豆粕、棉粕、菜粕、大豆、花生饼),5种能量饲料(玉米、高粱、小麦、麸皮、次粉)和7种粗饲料(苜蓿、羊草、玉米秸秆、稻草粉、啤酒糟、玉米青贮、大豆秸秆)。参考生产实践中的饲料配方技术,用上述17种单一饲料原料按照不同比例配制成24种混合日粮(表1)。将供试原料混合均匀、粉碎、干燥保存,备用。

表1 供试的24种混合日粮

Table 1 Composition of twenty-four feed mixtures for ruminants

混合日粮编号	饲料比例/%															干物质质量分数/%		
	玉米	高粱	小麦	麸皮	次粉	豆粕	棉粕	菜粕	大豆	花生饼	苜蓿	羊草	玉米秸秆	稻草	啤酒糟		大豆秸秆	玉米青贮
1	20		30						50									90.67
2	50			15		35												90.05
3	60	6		18	6	10												89.92
4		15		20	30	5	30											92.33
5	45			15				15		10					15			90.58
6	25			15							30	30						90.65
7	30		10	25		30	5											90.26
8	10			8		15							7		20	40		91.68
9	15			10		15	10				5	45						90.49
10	55							15	5	10			10			5		90.05
11	15	5		20		10							10	10		30		91.59
12	40			20	20	10		10										90.65
13	20			10	20		25	25										91.63
14	30			10		15					25	20						90.56
15	20			10			10				10	20	30					91.64
16	40	20					40											90.60
17	40		60															90.22
18	25			15						20	40							90.81
19	30	15		10			15						20		10			90.53
20										20	40	40						91.27
21										20	40	20	20					91.82
22		30	20	15		35												90.17
23		20		20			20					20		20				91.31
24				10	10			30				50						91.16

## 1.2 方法

每天 8:00 和 16:00 分 2 次分别饲喂黄牛混合日粮 3.0 kg 和羊草 2.0 kg, 自由采食玉米秸秆, 自由饮水。采用文献[11–12]的短期人工瘤胃发酵技术研究日粮组合效应对瘤胃发酵参数的影响。

称取 0.200 g 单一饲料样品, 用长柄勺将饲料样品加入到 100 mL 玻璃注射器的前端。每个饲料样品 2 个重复。设 1 个空白对照组, 2 个重复。在早晨饲喂前抽取瘤胃液, 用 4 层纱布过滤, 将过滤后的瘤胃液加入到准备好的真空容器中, 加入蒸馏水, 在 38 °C 水浴中预热, 再加入预先配制好的在 38 °C 水浴中预热的混合培养液, 持续通入 CO<sub>2</sub> 约 10 min。取 30 mL 上述瘤胃液和缓冲液的混合物于注射器中, 排净注射器中的空气, 并用密封针头封闭注射器, 记录活塞的位置, 在 38 °C 的水浴摇床中培养 24 h<sup>[11–13]</sup>。分别测定单一饲料样品和混合日粮发酵后的 pH 值、NH<sub>3</sub>-N 含量(mmol/(g·L))和单位饲料干物质的

产气量(mL/g), 并按照表 1 比例加权求和, 分析日粮组合效应对瘤胃发酵的影响。发酵完后, 测定产气量(GP); 用酸度计测定 pH 值; 用凯氏定氮法测定 NH<sub>3</sub>-N 含量。实验数据采用 Excel 2003 分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 日粮组合效应对瘤胃液 pH 的影响

由表 2 和表 3 可见, 瘤胃液 pH 值维持在 6.85 ~ 7.08 的正常范围内, 表明体外培养模拟瘤胃发酵是正常的, 同时粗饲料瘤胃发酵的 pH 值高于精饲料, 这是由精饲料产生较多的挥发性脂肪酸(VFA)所致。混合日粮单一饲料 pH 值的加权平均值( $x$ )与 pH 实测值( $y$ )之间的一元回归方程(图 1)为:  $y = 0.80x + 1.37$ ,  $R^2 = 0.63$ ,  $P < 0.01$ ,  $n = 24$ 。对加权平均值和实测值进行  $t$  检验的  $P > 0.05$ , 说明 pH 实测值与加权平均值之间差异不显著, 表明瘤胃液 pH 值间不存在显著的日粮组合效应。

表 2 单一饲料体外培养 24 h 的 pH、NH<sub>3</sub>-N 含量和不同培养时间的产气量

Table 2 pH and NH<sub>3</sub>-N and GP of single feed after 24 h of incubation *in vitro*

饲料类型	饲料	pH	NH <sub>3</sub> -N 含量/ (mmol·L <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )	不同培养时间的产气量/(mL·g <sup>-1</sup> )				
				2 h	4 h	8 h	12 h	24 h
精饲料	玉米	6.85±0.01	104.7±2.5	28.1±0.0	65.7±3.3	151.6±0.0	218.3±3.2	326.8±0.0
	高粱	7.01±0.04	181.4±3.2	11.5±0.0	25.0±1.3	61.2±3.4	110.2±5.8	233.8±3.5
	小麦	6.90±0.01	119.1±1.8	29.2±3.2	85.9±6.4	223.4±3.2	289.1±3.2	345.2±5.8
	麸皮	6.94±0.03	139.5±2.4	44.0±0.0	95.3±3.2	171.7±3.2	212.1±3.2	262.1±3.2
	次粉	6.94±0.02	106.6±1.8	29.8±1.1	86.0±6.1	212.5±3.0	254.6±3.0	303.0±3.1
	豆粕	6.95±0.03	211.7±3.2	47.7±1.2	81.2±3.2	166.8±3.3	214.0±0.1	258.0±0.2
	棉粕	6.90±0.00	140.7±3.5	17.3±3.1	28.4±2.2	59.9±3.1	74.4±0.2	107.4±2.9
	菜粕	6.86±0.05	136.9±1.9	18.2±3.2	28.7±3.2	65.7±5.4	95.3±3.0	134.5±3.1
	大豆	6.89±0.05	208.5±1.9	35.0±3.2	64.0±3.2	130.7±3.2	177.3±0.0	204.0±0.0
	花生饼	6.92±0.01	204.2±1.7	27.6±0.0	50.1±0.0	99.2±0.1	149.4±0.2	187.0±5.5
粗饲料	苜蓿	7.07±0.01	128.5±2.4	27.4±0.0	48.9±0.0	82.3±0.0	124.4±3.1	168.3±3.1
	羊草	7.05±0.02	109.1±2.0	16.3±0.0	23.9±3.2	35.2±3.1	62.3±3.2	110.0±3.2
	玉米秸秆	7.02±0.01	115.2±0.7	2.3±0.2	8.4±0.2	13.4±0.2	40.6±0.2	107.7±0.2
	稻草	6.99±0.02	101.8±1.2	10.5±0.1	16.4±0.0	21.1±0.0	38.9±3.2	91.3±0.2
	啤酒糟	6.95±0.01	111.2±1.8	17.6±1.1	23.2±3.1	34.0±3.1	60.3±3.1	91.6±3.1
	大豆秸秆	7.08±0.05	105.2±1.4	2.3±0.1	4.8±0.0	11.4±0.0	43.8±0.0	91.4±3.1
	玉米青贮	6.94±0.02	105.0±0.6	14.3±1.1	20.1±2.2	35.6±6.2	72.4±3.1	151.7±3.1

表3 混合日粮体外培养24 h后pH和NH<sub>3</sub>-N含量的实测值及加权平均值Table 3 Calculated and *in vitro* incubation technique (24 h) measured pH and NH<sub>3</sub>-N values of mixed feeds

日粮编号	pH		NH <sub>3</sub> -N 含量/(mmol·L <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )	
	实测值	加权平均值	实测值	加权平均值
1	6.92±0.02	6.89±0.01	167.9±3.7	160.9±1.3
2	6.93±0.03	6.90±0.01	140.2±4.4	147.4±0.7
3	6.91±0.04	6.89±0.00	116.6±1.2	126.4±0.9
4	6.92±0.04	6.94±0.02	135.1±1.1	139.9±0.6
5	6.89±0.01	6.91±0.04	123.0±1.3	128.8±0.8
6	6.95±0.00	6.97±0.03	114.0±1.6	114.4±0.8
7	6.89±0.02	6.91±0.02	150.9±3.2	148.7±1.1
8	6.93±0.01	6.96±0.01	132.5±4.3	123.6±0.5
9	7.00±0.01	6.97±0.03	124.6±1.8	132.8±0.2
10	6.95±0.01	6.90±0.02	104.2±1.2	116.6±1.3
11	7.00±0.01	6.94±0.02	116.3±0.7	126.6±0.6
12	6.91±0.02	6.90±0.02	123.1±1.3	126.0±0.6
13	6.90±0.02	6.89±0.01	114.2±3.2	125.6±1.2
14	6.96±0.02	6.96±0.01	113.0±1.8	127.4±0.4
15	6.90±0.01	6.96±0.01	113.0±2.3	113.0±0.4
16	6.88±0.00	6.90±0.01	126.0±2.0	134.4±1.9
17	6.85±0.00	6.88±0.00	102.9±2.5	113.3±1.0
18	6.99±0.06	6.99±0.00	119.8±1.8	116.4±1.1
19	6.95±0.00	6.94±0.01	110.7±1.8	124.6±0.7
20	7.00±0.02	7.04±0.01	106.1±1.4	115.4±1.2
21	7.05±0.06	7.04±0.01	105.1±1.7	112.7±1.1
22	6.92±0.06	6.96±0.02	155.2±1.8	173.3±1.7
23	6.92±0.06	6.96±0.01	123.6±2.0	137.6±0.5
24	6.94±0.06	6.97±0.01	147.7±1.8	144.8±0.3

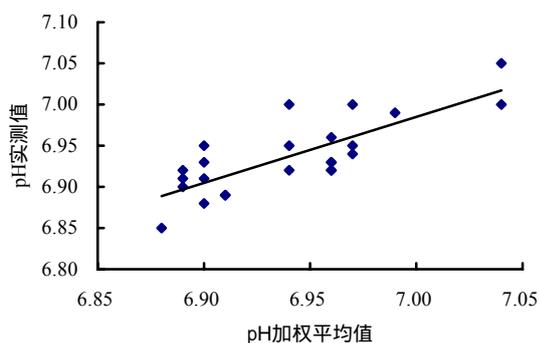


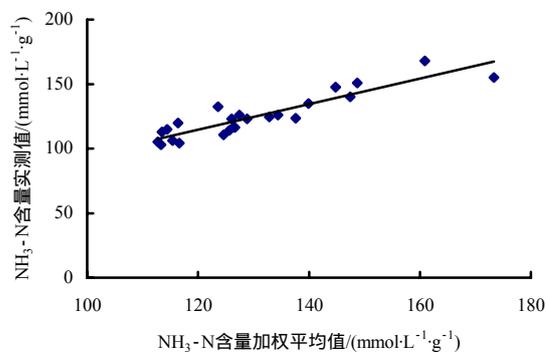
图1 混合日粮 pH 加权平均值与实测值的相关关系

Fig. 1 Regression analysis of the calculated pH values and the *in vitro* incubation technique measured pH values

## 2.2 日粮组合效应对瘤胃液 NH<sub>3</sub>-N 含量的影响

由表 2 和表 3 可见, 瘤胃液 NH<sub>3</sub>-N 含量为 211.70 ~ 101.80 mmol/(g·L), 而且精饲料 NH<sub>3</sub>-N 含量的平均值高于粗饲料。混合日粮单一饲料 NH<sub>3</sub>-N

含量的加权平均值(x)与混合日粮 NH<sub>3</sub>-N 含量实测值(y)间的一元回归方程:  $y = 0.99x - 4.53$ ,  $R^2 = 0.83$ ,  $P < 0.01$ ,  $n = 24$ , 表明瘤胃液 NH<sub>3</sub>-N 含量存在极显著的日粮组合效应(图 2)。

图2 混合日粮 NH<sub>3</sub>-N 含量加权平均值与测定值的相关关系Fig. 2 Regression analysis of the calculated NH<sub>3</sub>-N values and the *in vitro* incubation technique measured NH<sub>3</sub>-N values

2.3 日粮组合效应对瘤胃产气量的影响

由表 2 和表 4 可见,不同发酵时间(2、4、8、12、24 h)混合日粮单一饲料产气量的加权平均值(x)与实测值(y)之间的一元回归关系分别如下:

$$y = 1.24x - 0.96, R^2 = 0.55, P < 0.01 (2 \text{ h});$$

$$y = 1.03x - 0.75, R^2 = 0.68, P < 0.01 (4 \text{ h});$$

$$y = 0.86x + 12.85, R^2 = 0.74, P < 0.01 (8 \text{ h});$$

$$y = 0.86x + 17.55, R^2 = 0.84, P < 0.01 (12 \text{ h});$$

$$y = 1.02x + 3.15, R^2 = 0.93, P < 0.01 (24 \text{ h}).$$

对发酵 2、4、8、12、24 h 产气量的加权平均值(x)和实测值(y)进行 t 检验的 P 值分别为 0.005、0.736、0.556、0.466、0.035,表明饲料发酵 2 h 存在极显著的日粮组合效应;发酵 4、8、12 h 的产气量实测值和加权平均值间无统计学意义;发酵 24 h 的产气量存在显著的日粮组合效应。

表 4 混合日粮不同培养时间产气量的实测值和加权平均值

Table 4 Calculated and *in vitro* incubation technique (24 h) measured GP values of mixed feeds mL/g

日粮 编号	产气量实测值					产气量加权平均值				
	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h
1	39.8±3.2	67.8±3.2	154.4±0.0	201.5±3.2	277.6±3.1	31.9±1.4	70.9±0.9	162.9±1.4	218.5±0.9	271.4±1.7
2	47.6±3.3	75.8±3.3	152.1±3.0	197.9±3.5	292.2±3.6	37.4±1.1	76.3±1.9	159.7±1.6	216.2±1.4	292.9±0.6
3	30.9±3.1	69.4±3.1	141.9±3.4	197.9±3.4	319.8±3.6	32.0±0.3	70.8±2.6	155.4±0.6	211.8±2.0	301.0±0.7
4	46.8±3.1	87.5±3.2	168.9±3.3	195.6±3.4	268.0±3.1	27.2±1.5	60.6±3.5	134.0±1.7	167.5±1.2	222.8±2.1
5	49.6±0.0	83.2±0.0	154.4±0.0	197.5±0.0	276.4±3.2	29.9±0.4	62.1±1.3	126.8±1.0	178.3±1.4	247.7±0.5
6	29.3±3.1	50.8±3.1	98.9±0.2	131.9±0.3	219.5±3.3	18.7±0.9	40.2±1.4	77.5±1.3	117.0±1.3	185.5±2.1
7	42.3±3.1	83.3±0.0	169.3±3.1	212.5±3.1	284.8±3.0	37.5±0.5	79.7±1.5	163.5±1.9	214.8±0.6	280.5±0.6
8	20.0±3.2	31.3±3.1	74.3±3.1	112.3±3.1	167.1±3.1	20.2±2.7	36.0±2.4	72.0±2.2	111.1±1.8	177.7±1.9
9	25.7±3.2	52.8±3.2	96.5±3.3	130.1±3.2	188.9±3.2	18.6±1.5	38.6±1.9	78.7±2.0	114.8±1.2	179.2±2.0
10	29.5±3.2	56.8±3.2	131.4±3.2	186.3±3.1	258.4±3.1	24.3±0.3	51.0±1.9	110.6±0.7	162.4±2.1	242.9±0.5
11	29.0±3.2	55.7±3.1	105.0±3.1	138.1±3.1	203.3±3.1	25.7±1.6	48.2±1.6	92.9±1.9	133.7±2.1	202.8±1.7
12	38.5±0.0	76.6±0.2	171.5±3.5	221.5±3.6	305.1±2.6	32.6±0.6	73.6±2.9	160.5±1.2	212.1±1.4	283.4±1.2
13	47.2±3.2	69.4±3.2	106.9±3.2	153.5±3.3	227.4±3.2	25.0±1.9	54.4±3.7	121.7±2.6	157.8±1.5	212.6±1.7
14	33.0±0.0	50.0±0.0	82.6±0.0	125.3±3.2	205.7±3.4	23.5±1.0	49.1±1.3	98.9±1.3	142.0±1.1	211.9±1.6
15	25.4±3.1	24.8±3.1	52.4±3.1	84.6±3.0	153.7±3.0	16.7±1.4	34.2±1.2	65.5±0.6	98.3±1.4	162.0±1.4
16	29.1±3.1	40.4±3.1	72.6±3.1	122.9±2.9	232.3±2.7	20.2±1.3	43.4±4.0	96.9±1.7	138.5±2.4	220.0±1.6
17	26.2±0.0	50.3±0.0	116.3±0.0	187.7±0.0	314.6±0.0	28.8±1.9	77.8±4.6	195.1±1.9	260.8±1.8	337.8±3.5
18	27.2±0.0	38.0±0.0	71.4±0.0	107.5±3.2	178.5±3.3	25.2±0.0	50.3±0.5	93.8±1.1	135.5±1.3	199.3±1.0
19	22.1±0.0	39.1±0.0	82.7±0.1	142.9±0.2	219.3±3.4	20.3±0.3	41.2±2.1	86.0±0.6	126.2±1.9	202.8±1.0
20	10.9±0.0	15.9±0.0	32.8±0.0	59.6±0.0	115.2±0.0	12.9±1.3	22.9±1.2	35.5±1.2	66.1±1.1	120.5±1.7
21	7.2±0.2	17.6±1.1	39.8±2.1	62.0±3.1	117.1±6.3	13.9±1.3	23.5±1.1	37.1±1.1	65.5±1.1	116.7±1.1
22	25.8±3.2	58.6±3.3	142.1±3.4	200.7±3.4	278.2±3.4	32.6±0.5	67.1±1.0	146.8±1.1	197.9±1.4	269.0±1.8
23	10.9±0.0	22.3±0.0	59.9±3.1	97.8±0.0	160.4±0.1	19.3±0.0	35.5±1.2	67.8±0.0	99.3±0.6	163.5±2.2
24	21.9±0.0	48.8±0.0	83.9±3.1	119.9±0.0	192.1±0.0	18.6±1.7	41.3±2.7	83.8±2.3	120.1±1.6	172.2±2.3

3 结论与讨论

试验结果表明,体外发酵 24 h 后,混合日粮 pH 值维持在 6.60~7.10 的正常范围内,瘤胃液 pH 值间不存在日粮组合效应;NH<sub>3</sub>-N 含量和产气量存在显著的日粮组合效应;体外培养发酵 2 h 的产气

量存在极显著的日粮组合效应。

瘤胃 pH 值是反映瘤胃发酵生理的一项最基本,也是最重要的指标。正常瘤胃液的 pH 值为 5.5~7.5。维持正常范围内的 pH 值是保证瘤胃发酵正常的前提。瘤胃液 pH 值受很多因素影响,合适的缓

冲溶液和厌氧环境对维持瘤胃 pH 值的稳定是必要的。本试验中 pH 值正常,表明缓冲液配制适宜和发酵管密封良好。因为饲料在瘤胃微生物的作用下被降解,产生不同数量的  $\text{NH}_3\text{-N}$  和  $\text{CO}_2$  等,所以,生产中的不同饲养方式、不同精粗比、动物的反刍与饮水等都会使不同饲料在瘤胃发酵时表现出不同的瘤胃液 pH 值;但瘤胃液 pH 值主要反映饲料碳水化合物在瘤胃中发酵产酸的速率和数量<sup>[14-15]</sup>。

瘤胃液中的  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量是一个动态平衡的过程,一方面饲料被瘤胃微生物分解产生  $\text{NH}_3\text{-N}$ ;另一方面瘤胃中的微生物利用饲料降解的  $\text{NH}_3\text{-N}$  与酮酸合成微生物蛋白质(MCP)。在大多数情况下,饲料降解产  $\text{NH}_3$  的速率远远超过微生物利用  $\text{NH}_3$  的速率,过多的瘤胃  $\text{NH}_3$  被消化道吸收而转化为尿素,随唾液进入瘤胃而被循环利用,但大部分尿素随尿液排出体外,同时瘤胃中  $\text{NH}_3$  的积累也是使瘤胃 pH 值升高的重要原因<sup>[14-15]</sup>。瘤胃  $\text{NH}_3\text{-N}$  是综合反应含氮化合物瘤胃降解与合成的中间产物,是评定反刍动物蛋白质营养价值的重要参数。本研究中,瘤胃  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量存在显著的日粮组合效应。

瘤胃产气主要包括二氧化碳和甲烷 2 种气体,其中二氧化碳占 70%左右,甲烷占 20%左右<sup>[14-15]</sup>。瘤胃产气量是一个综合反映饲料瘤胃发酵特性的指标,主要体现瘤胃微生物活动的总体趋势,是评定反刍动物饲料营养价值的综合指标。饲料的可发酵性越强,瘤胃微生物的活性越高,产气量就越大。本研究结果表明,发酵开始阶段和发酵结束阶段,瘤胃产气量存在显著的日粮组合效应,但在瘤胃发酵中间阶段不存在日粮组合效应。

本试验结果证实了反刍动物日粮组合效应的存在,因此,在生产实践中必须科学、合理地搭配组合日粮,尽量减少“负组合效应”发生,充分利用“正组合效应”,提高饲料的利用率。

#### 参考文献:

- [1] Ørskov E R. 饲料学[M]. 望丕县,译. 北京:北京农业出版社,1991:32-67.
- [2] 张子仪. 中国饲料科学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:289-294.
- [3] 郭冬生. 反刍动物日粮组合效应研究进展[J]. 家畜生态学报,2008,29(2):109-112.
- [4] 苏海涯,吴跃明,刘建新. 反刍动物饲料间的组合效应[J]. 饲料博览,2001(8):18-19.
- [5] 吴跃明,刘建新. 反刍动物饲料间组合效应的研究进展[J]. 畜牧与兽医,2002(6):113-117.
- [6] 高民. 反刍动物饲料间的组合效应[J]. 内蒙古畜牧科学,1997(3):20-22.
- [7] 吴跃明. 反刍动物日粮桑叶与饼粕类饲料间的组合效应[J]. 畜牧与兽医,2002(10):27-31.
- [8] 吴跃明. 养分均衡供应对桑叶与菜籽饼间组合效应的影响[J]. 畜牧与兽医,2002(10):38-42.
- [9] 谭支良,卢德勋. 提高粗饲料利用效率的系统组合营养技术及其组合效应的研究进展[J]. 饲料博览,1999(7):6-10.
- [10] 张辉,李金魁. 反刍动物饲料间组合效应的研究进展[J]. 青岛畜牧兽医杂志,1996(1):34-35.
- [11] Zhao G Y, Lebzien P. Development of an *in vitro* incubation technique for the estimation of the utilizable crude protein(uCP) in feeds for cattle[J]. Arch Anim Nutri, 2000, 53: 293-302.
- [12] Zhao G Y, Lebzien P. The estimation of utilizable amino acids(uAA) of feeds for ruminants using an *in vitro* incubation technique[J]. Journal Animal Physiol Animal Nutrition, 2002, 86: 246-256.
- [13] Mould F L, E R orskov, SoMann. Associated effects of mixed feeds[J]. Animal Feed Science Technol, 1983, 10: 15-30.
- [14] 冯仰廉. 养牛科学研究进展[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1998:78-83.
- [15] 冯仰廉. 肉牛营养需要与饲养标准[M]. 北京:中国农业大学出版社,1995:21-37.

责任编辑:王赛群